

# "Aus Schaden wird man klug ...? Wie Technik Wissen gewinnt"

Duddeck, Heinz

Veröffentlicht in:  
Abhandlungen der Braunschweigischen  
Wissenschaftlichen Gesellschaft Band 50, 2000,  
S.135-159



J. Cramer Verlag, Braunschweig

## **„Aus Schaden wird man klug ...? Wie Technik Wissen gewinnt“<sup>1</sup>**

von **Heinz Duddeck**, Braunschweig\*

(Eingegangen 27.06.2001)

### **1. Bauwerkseinstürze – Ursachen und was man daraus lernt [1]**

#### **Die Quebec-Brücke 1907**

Die Balkenbrücke über den Firth of Tay hatte der Sturm in der Weihnachtsnacht 1879 mit 90 Menschen in die Tiefe gerissen. Für die Firth of Forth Brücke, von 1882 – 1890 gebaut, entwickelten Ingenieure die „sichere“ Kragarm-Konstruktion. Die Firth of Forth Brücke mit 521 m mittlerer Spannweite steht heute noch, wie ein häßlicher Dinosaurier – aber stabil. Nun soll 1907 die Quebec-Brücke nach gleichem Prinzip die Weltrekord-Weite von 550 m für die mittlere Öffnung überspannen.

In Bild 1 montieren am 23. August 1907 Brückenbauer Stück für Stück die Brücke über den St. Lawrence River bei Quebec im Freivorbau. Die Quebec Bridge Company hat seit sieben Jahren Theodor Cooper mit Beratung und Überwachung beauftragt, „a proud, confident consultant, fiercely devoted to his calling“ [2]. Der entscheidet, weil die Bridge Company sparen will, daß der bisher beste Entwurf noch geändert werden könne:

1. darf die Mittelspannweite um 60 m auf 550 m vergrößert werden,
2. dürfen die zulässigen Spannungen höher gewählt werden als bisher.

So wird ohne Nachberechnung des nun höheren Eigengewichts, ohne zusätzliche Tests nach Erfahrung und dem ersten Entwurf gebaut.

Schon zwei Monate vor dem Foto Bild 1 warnen krumme Druckstreben und die jüngeren Ingenieure. Doch Theodor Cooper, der 68 Jahre alt ist, der die Baustelle seit vier Jahren nicht gesehen hat, sondern nur seine Erfahrungsautorität von New York aus einsetzt, beschwichtigt. Fünf Tage nach diesem Foto wird es dramatisch, weil die Ausbeulungen wachsen. McLure, der junge Ingenieur, fährt nach New York zum Report. Ein Telegramm mit der Baustopp-Anordnung geht zur Stahlbaufirma, erreicht jedoch erst am Morgen danach die Baustelle. Doch die sieht diesen Morgen so aus wie im Bild 2. 70 Tote, Prozesse, Schuldzuweisungen, Karriereknicks. Die neue Brücke wird erst 10 Jahre später 1917 eingeweiht und braucht 2,5-fach mehr Stahl. Ein Bericht hierüber [2] endet mit „Any great bridge builder is by nature a figure of hubris“.

---

\* Prof. Dr.-Ing.E.h., Dr.-Ing. Heinz Duddeck · Greifswaldstraße 38 · D-38124 Braunschweig

<sup>1</sup> Nach einem Vortrag im Rahmen der Reihe “Homo faber – Das Machen als Motor des Wissens?”, TU Braunschweig, Nov. 2000.

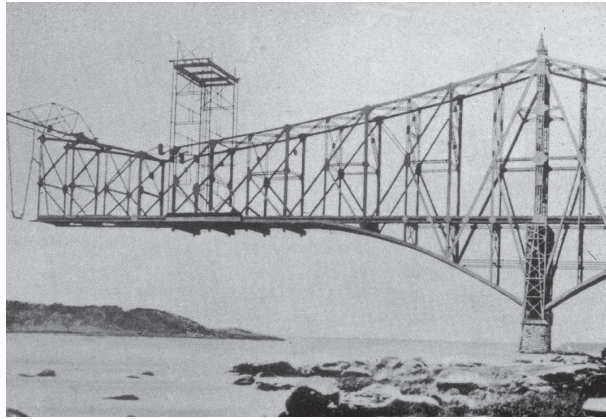


Bild 1: Quebec-Brücke, Freivorbau 1907



Bild 2: Eingestürzte Quebec-Brücke 1907

Was man daraus lernt:

1. Die Denk- und Handlungsentscheidungen von Ingenieuren werden durch einen harten Realtest geprüft. Falsch gedacht – Brücke stürzt ein. Sich irrende Denker bekommen dagegen eher nur das Schild „Eigenwilliger Denker“ umgehängt.
2. Extrapolationen aus bisherigem Erfahrungsbereich hinaus in erweiterte Dimensionen oder Anwendungen werden mit neuen Gefährdungsszenarien bestraft. Außerdem: Die Theorie ausbiegender Druckglieder war 1907 noch wenig entwickelt. Was

knicken kann, darf nur mit geringeren Spannungen beansprucht werden als das, was unter Zug steht.

3. Insbesondere dann, wenn Ingenieure Unikate bauen, müssen sie zukünftiges Verhalten mit Kopf und Intuition, Berechnung und Ingenieurinstinkt erfassen, müssen sie mit hoffentlich hinreichend gesicherten Theorien Prognosen machen, für das, was noch nicht existiert. Maschinenbauer haben es da leichter als Bauingenieure. Was in Serien gefertigt werden soll – wie z. B. Autos und Waschmaschinen, selbst Flugzeuge – wird erst einmal mit Prototypen aufs Härteste getestet.
4. Technik unterwirft sich nicht Autoritäten. Die Sorgen schlafloser Nächte des jungen Ingenieurs waren der Realität näher als die Beschwichtigungen einer Koryphäe. Junge Ingenieure wissen ein Lied davon zu singen, wie oft sich hinter der „größeren Erfahrung“ unzulängliches Wissen versteckt. Eitelkeit oder geschlossenes Denksystem führen dazu, was Amerikaner so treffend mit „he thinks, he is big“ kommentieren. Außerdem: Erfahrung deckt doch nur bisheriges, nie neues Wissen ab.

Für meine Titelfrage, ob man aus Schaden klug werde, ist der Einsturz der Quebec-Brücke nur bedingt ein zutreffendes Beispiel. Ingenieure haben hieraus kaum neues Entwurfswissen gewonnen. Es ließ sich nachher leicht nachweisen, daß die in der Berechnung angesetzten Stahl-Eigengewichte zu klein waren, daß die Beanspruchungen über den Beulgrenzen lagen, daß außerdem Fertigungsungenauigkeiten zum Einsturz beitrugen. Doch Wissensgewinn gab es beim Handlungswissen. Man darf Kostenargumenten nicht den Vorrang vor technischen Erfordernissen geben. Expertentum und Alter schützen nicht vor Fehlentscheidungen. Man muß auch Bedenken Jüngerer hören. Insofern war man nachher klüger als zuvor.

### **Tacoma-Narrows-Bridge 1940**

Der Einsturz der Tacoma-Hängebrücke 1940 (Bild 3) ist ein klassischer Fall, bei dem neue Phänomene durch Überschreiten von Erfahrungsbereichen auftreten. Die Fahrbahnen der Hängebrücken wurden nach den Erfolgen der George Washington Brücke in New York und der Golden Gate Brücke in San Francisco immer dünner, Bauingenieure sagen: schlanker. Bis der Wind – und nicht einmal der stärkste Berechnungswind – die Torsionsschwingungen der Tacoma-Bridge so anfachte, aufschaukelte, daß sie brach. Zum „großen Glück“ für die Ingenieure: Ein Professor für Dynamik filmte diesen Einsturz. Er verlor freilich sein Auto, das er vertrauensvoll auf der Brücke stehen ließ.

Hier waren Ingenieure nachher auch in ihrem Entwurfswissen klüger. Nach Entwicklung der Theorie der Flattertorsionsschwingungen von Hängebrücken wurden alle Brückenfahrbahnen neu berechnet, viele verstärkt. Heute wird jede Hängebrücke in der Welt erst nach Windkanalversuchen und Schwingungsanalysen gebaut. Zitat eines US-Ingenieurs: Erfolgreiche Konstruktionen können schlechte Beispiele für zukünftige Bauten sein, wenn man deren Erfolg einem unzutreffenden Prinzip zuschreibt. Der Homo faber, der hier Brückenbauer ist, lernt nicht durch Tun, sondern durch Erfahrungen überschreitendes fehlerhaftes Tun. Oder: Er ist ein großartiger, erfahrener Ingenieur, ihm können wir ver-



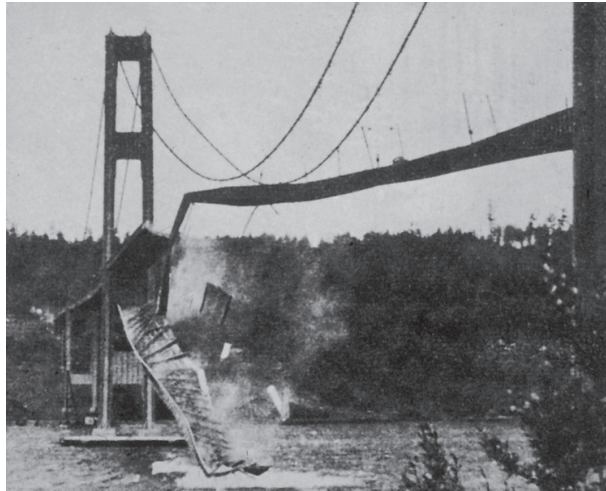


Bild 3: Tacoma-Bridge 1940

trauen, - denn er hat viele Fehler gemacht ...? Ganz wie im Psychologischen: Schrecklich, einem fehlerfreien Menschen zu begegnen, der sich außerdem für einen solchen hält.

### Die Berliner Kongress-Halle 1980

Die Kongress-Halle, die die Berliner die „schwängere Auster“ nennen (Bild 4), ist ein Geschenk der USA an die Freiheitsinsel Westberlin. Sie wurde 1956-57 nach Plänen eines US-Architekten nach dem Vorbild der Raleigh-Arena in Texas entworfen. Weil einseitige Belastungen jedoch beim ursprünglichen Konzept nicht aufnehmbar sind, wird die Tragkonstruktion durch die deutschen Ausführungsfirmer verändert. Vereinfachend gesagt: Das Hängedach spannt sich nicht wie bei einem Tennisschläger zwischen die zwei schrägen Bögen, sondern die Bögen hängen an einem inneren Aussteifungsring. Sie sind eigentlich nur architektonisches Beiwerk, nicht Tragteile. Die Statik ist ziemlich komplex. Einfachere Tragwerkslösungen sind unter Zeitdruck nicht mehr möglich, denn die Fundamente sind schon fertig.

Nach 23 Jahren stürzt der Südbogen im Mai 1980 ein (Bild 5) und erschlägt meines Wissens zwei Personen. Die Spanndrähte in der 7 cm dicken Dachhaut, an der der Bogen hing, waren gebrochen. Die starken Relativverformungen (z. B. aus Wind und Temperatur) hatten an den Anschlußstellen Risse erzeugt und die Spannkabel anrosten und durch Wechselbiegungen schließlich brechen lassen [3]. Im Laufe der Jahre rissen nacheinander so viele Kabel, bis sich der Bogen wie ein Reißverschluß vom Dach trennte und abstürzte. Ein typischer Mehrfach-Kausal-Schaden. Die Halle bekam ein völlig neues Dach, nun jedoch aus Stahl – und der Beton-Verein, der darin früher so stolz tagte, hat sich – nicht nur aus Scham – eine andere Kongress-Halle ausgesucht.



Bild 4: Berliner Kongress Halle, gebaut 1956-57

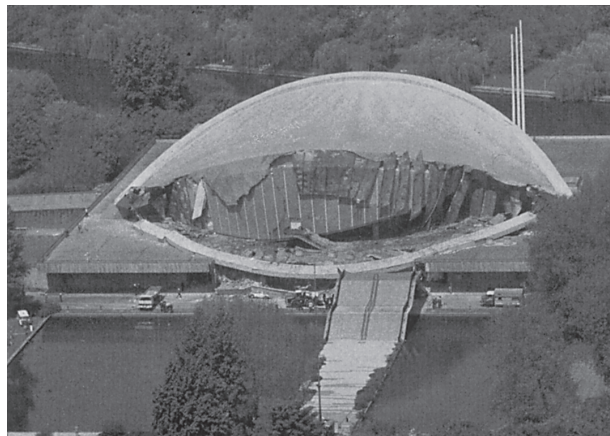


Bild 5: Abgestürzter Bogen 1980

Was man daraus lernt: Hier haben Ingenieure neue Kenntnisse aus 23jährigem Bauwerksverhalten gewinnen können.

1. Es gibt Zusatzeinflüsse, die erst langfristig zum Schaden führen. Man vermeidet sie nicht durch genaueres Berechnen, sondern durch besseres Konstruieren.
2. Oft sind mehrere Einflüsse kumulierend schadensfördernd. Hier waren es u. a. die unter das Dach getriebenen Springbrunnen-Feuchtigkeit und die unterschiedlichen Verformungen aus Temperaturen.

3. Termindruck – während der allzu kurzen Bauzeit – ist qualitätsfeindlich.
4. Man kann alle Regeln und Normen einhalten und dennoch schadensträchtig konstruieren.
5. Ingenieure müssen der Langzeitbeständigkeit gleiches Gewicht geben wie der Tragfähigkeit.

Der Gewinn an Wissen liegt hier nicht im grundsätzlich Theoretischen, sondern im Konstruieren, im Besser-Machen.

### Rheinbrücke bei Koblenz 1971

1971 wird die Stahlbrücke über den Rhein bei Koblenz im Freivorbau hergestellt. Der große Kastenträger hat eine untere Breite von 11 m. Der Derrick auf der Vorbauspitze hebt vorgefertigte Segmente von Transportschuten nach oben. Die zu hebenden Teilstücke sind bis zu 17 m lang und recht schwer. Im November 1971 ist der Kragarm bereits 104 m vorgebaut. Als das letzte Segment gehoben wird, knickt der Kragarm ein (Bild 6). Die Spitze schlägt auf den Rheingrund auf. 13 Bauarbeiter werden getötet. Ein Amateur, der den Brückenschluß dokumentieren will, fotografiert den Einsturz. Die untere Druckplatte des Kastenträgers versagt an der höchstbeanspruchten Stelle rd. 54 m vom Pfeiler. Sie ist durch innere Längsträger stark ausgesteift und nach den Regeln der Technik über das Beulen von ausgesteiften Platten berechnet worden.

Die Ursache, siehe auch [1]: Die Stoßstellen der Aussteifungsprofile der unteren Stahlplatte hatten zur Vermeidung von sich kreuzenden Schweißnähten 46 cm lange Aussparungen. Die verbleibenden Flansche knickten an dieser Stelle aus. Aber auch: Die Sicherheitsbeiwerte der Berechnungen gingen vom günstigeren Plattenverhalten aus, was bei balkenartig ausgesteiften Plattenfeldern nicht gilt. Sie waren außerdem für Montagezustände geringer als für Verkehrslastfälle.

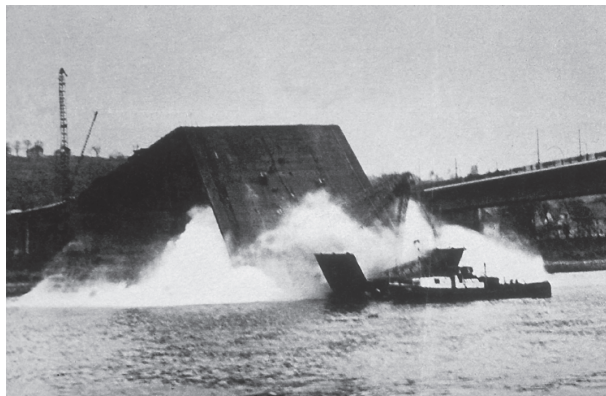


Bild 6: Einstürzende Koblenzbrücke 1971

Der Einsturz dieser stählernen Kastenbrücke war einer von mehreren dieser Brückenart [1]. 1970 versagten die Westgate-Brücke bei Melbourne, die Milford-Hafenbrücke in England und 1969 die Wiener Donaubrücke durch Beulen ausgesteifter Blechfelder. Diese Fälle initiierten internationale experimentelle und theoretische Forschungen, an denen sich auch Braunschweiger Institute beteiligten. Schadensfall bringt Forschungsgelder. Brücken dieser Art sind seitdem sicherer.

Worin man im nachhinein klüger war:

1. Es kommt auf das konstruktive Detail an. Die komplizierteste numerische Berechnung kann falsch sein, wenn das Berechnungsmodell kritische Konstruktionsdetails (die Ausklinkungen an Schweißnähten) nicht erfassen.
2. Was mit zu stark vereinfachten Modellen bei Berechnung und Experiment gefunden wird, kann nicht immer auf komplexere Realsysteme übertragen werden. Die realen Sicherheiten können kleiner sein.
3. Montagelasten sind tatsächliche Lasten. Sie enthalten keine stillen Reserven wie z. B. bei Nutz- und Windlasten, bei denen Ingenieure obere Streuwerte ansetzen.

Dieser Fall ist eher ein Beispiel für das Thema, daß erst aus Machen neues Wissen folgt, freilich mit dem hohen Preis des Schadensfalls. Ich könnte die Darstellung von Bauten, die versagten, beliebig lang fortsetzen. Sie haben viel zu den Fortschritten in der Bautechnik beigetragen. Dies kann man in den Büchern von Joachim Scheer über „Versagen von Bauwerken“ nachlesen, vom Versagen der Snofru-Pyramide in Medum vor 4500 Jahren bis zu Bauten unserer Zeit.

## 2. Nur aus Schaden wird man klug ...?

An konkreten Beispielen aus meinem Fach habe ich gezeigt, was Schadensfälle lehren, in welcher Hinsicht man klüger wird. Und ganz bewußt wollte ich darlegen, wie komplex jeweils die Ursachen sind, wie sehr aber auch in jedem Einzelfall anders. Da ist der Zugewinn an Wissen selten von so grundsätzlicher Art wie Archimedes' „Heureka“ in der Badewanne. Technische Schadensfälle weisen eher auf Grenzüberschreitungen bisher abgesicherten Tuns, auf unvollständige Prognose-Modelle, auf fehlerhaftes Denken, auf Machen mit unzureichendem Wissen. Sie tragen zur Verbesserung bisheriger Techniken bei. Klug wird man nur im Sinne von: Was haben wir falsch gemacht. Aber ist dies schon neues Wissen der Wissenschaften? Vielleicht ist es dies am ehesten noch bei der Tacoma-Bridge und begrenzt bei der Koblenzer Brücke der Fall wegen neu erfahrener Phänomene, die neue Erkenntnisse brachten, die zur Revision und Erweiterung der Entwurfs- und Berechnungsregeln zwangen.

Nun sollte ich ja hier wohl nicht nur Schadensfälle analysieren, sondern die Frage beantworten, ob Machen Motor des Wissens sei. Doch mein Titel impliziert eher, daß in der Technik nicht so sehr das Machen, sondern das Falsch-Machen Wissen fördert. Dies unterscheidet übrigens Ingenieure z. B. von Wortwissenschaftlern. Jene erfahren harte Realtests. Diese aber? Macht etwa falsches Schreiben klüger? Und bei so vielen Brückeneinstürzen: Die da nur mit Wörtern umgehen, die können doch gar nicht klüger werden,

denn denen fällt ja nichts ein – fällt keine Brücke ein. Wo werden eigentlich die durch Schaden klug?

Wenn es nur den Weg des Falsch-Machens zu besserem Verstehen, zu richtigerem Wissen gäbe, dann wäre es schlimm. Denn es gibt große Bereiche der Technik, in denen wir auf keinen Fall erst aus Schaden klug werden dürfen. Dies sind technische Systeme, deren Sicherheit wir auch gegen hypothetische Gefährdungen, die hoffentlich nie eintreten, nachzuweisen haben.

### 3. Gefährdungsszenarien ohne Absicherung durch Erfahrungen

#### Unterirdische Deponien

Wenn Geo-Ingenieure unterirdische Deponien für toxische Abfälle planen – auch radioaktive gehören dazu – müssen sie nachweisen, daß der Gebirgseinschluß auch in 1.000 oder 10.000 Jahren die Biosphäre gegen Kontaminierung zuverlässig schützt. Für solche Nachweise brauchen wir Wissen, das Risiken analysiert, für die keine Erfahrungen vorliegen, die wir aber auch auf keinen Fall machen wollen. Und solche Nachweise müssen außerdem die technischen Laien, die Gesellschaft, überzeugen. Wie gewinnen wir technisches Wissen, das dies leistet?

Als Beispiel sind in Bild 7 die Kammern des aufgegebenen Salzbergwerks im Asse-Salzdom gezeigt. Die Abbaukammern werden z. Z. verfüllt. Das alte Bergwerk darf weder einstürzen noch mit solchem Wasser volllaufen, das Zugang zur Biosphäre hat. Da muß vom derzeitigen Wissen weit in die Zukunft hinaus extrapoliert werden. Die Geotechniker stützen sich auf:

1. im Labor untersuchte Proben, um das Langzeitverhalten der Salzgesteine in mathematisierten Stoff-Modellen abzubilden,
2. auf in-situ-Beobachtungen und Messungen,
3. auf Erfahrungen des Jahrhunderte alten Bergbaus,
4. und auf Berechnungen, die Prognosen für zukünftige Zustände erstellen.

Will man also Aussagen über die Zukunft machen, bleibt nur der berechnungstheoretische Weg über Strukturmodelle wie das in Bild 8 gezeigte Finite-Element-Netz. Mit Stoffmodellen für Gebirge, Salzgestein und Verfüllgut, die u. a. von Zeit, Temperatur, Spannungszuständen abhängig sind, kann man dann die Zustände in beliebigen Zukunftsjahren errechnen.

Was sagt uns dieses Beispiel zu unserem Thema:

1. Beim bergmännischen Herstellen unterirdischer Deponien und technischer Hohlräume können wir wohl aus Machen – das sind die Jahrtausende alten Erfahrungen der Bergleute – das Erfahrungswissen gewinnen, wie der technische Herstellungsprozeß richtig ist.
2. Wenn wir jedoch Aussagen über das Zukunftsverhalten des Hergestellten machen wollen, können Ingenieure nicht durch Machen Wissen gewinnen. Da müssen Theorie und rechnerisches Modell erfunden werden.



„Aus Schaden wird man klug ...? – Wie Technik Wissen gewinnt“

143

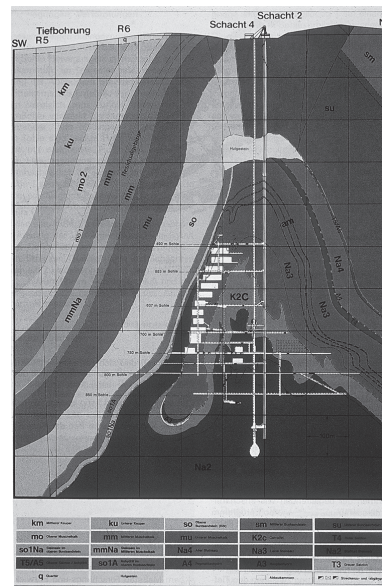


Bild 7: Schnitt durch Asse-Bergwerk

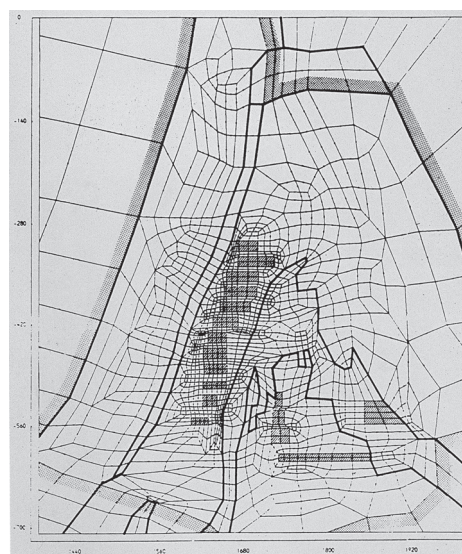


Bild 8: Berechnungsnetz für Asse-Sattel



3. Und wie kann man solche theoretischen Modelle so absichern, daß sie als richtig überzeugen? Da bleiben nur Extrapolationen von Labor- und in-situ-Versuchen, rechnerische Analysen von Alternativen in den Unschärfezonen von unvermeidbaren Streuungen, Bestätigung der Theorie durch Vergleich von Berechnung und Messungen exemplarischer derzeitiger Zustände.

### Weitere Beispiele technischer Prognosen

Es folgen drei Beispiele, bei denen Nachweise für Versagensszenarien hypothetischen, nicht erfahrbaren Charakters erforderlich sind. Technik, die das Funktionieren eines Kraftwerks, die Optimierung von Ressourcen und die Minimierung von Umweltschädigungen sichert, die kann man erproben und weiterentwickeln, also erfahren. Wenn jedoch Anlagen großen Gefahrenpotentials – wie Kernkraftwerke (Bild 9 zeigt ein Kohlekraftwerk) – gegen Erdbeben, Gaswolkenexplosion, Flugzeugaufprall bemessen werden sollen, muß theoretisch, weitgehend erfahrungslos gearbeitet werden. Da müssen Ergebnisse von Labor-tests auf die Realkonstruktion übertragen werden, mit manchen Gelegenheiten zum Irrtum. Gesucht ist nämlich die Grenzsituation des Versagenszustandes. Dies ist viel schwieriger als der Gebrauchs – Betriebszustand. Der Weg vom Machen zum Wissen ist weit.

Das Eidersperrwerk (Bild 10) muß für die Jahrhundert-, ja Jahrtausend-Sturmflut bemessen werden. Allein das Ausdenken der dabei auftretenden Wellenkräfte ist mehr eine intellektuelle Leistung als Erfahrungswissen. Und hoffentlich – denken die Ingenieure – wird ihr Werk nie einem solchen Realtest unterworfen. Die gleichen Probleme haben Staudamm-bauer, Maschinenbauer und E-Techniker, wenn sie Katastrophen-Szenarien analysieren.

Eine ganz andere Art des Handelns und Entscheidens ohne erfahrenes Wissen fordert der tiefe Tunnelbau: Oben in Bild 11 ist die Gebirgsüberdeckung des im diesem Jahr 2000

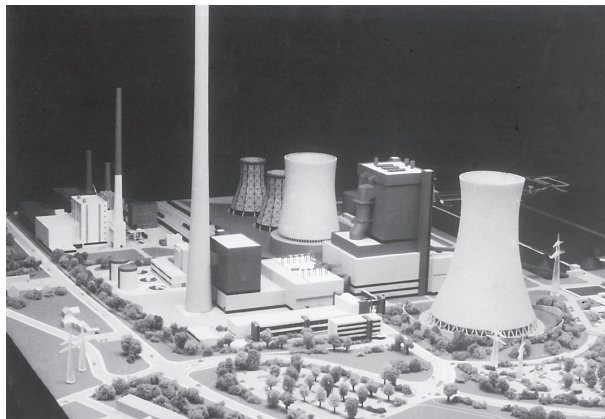


Bild 9: Kohlekraftwerk (Modell)



Bild 10: Eidersperrwerk

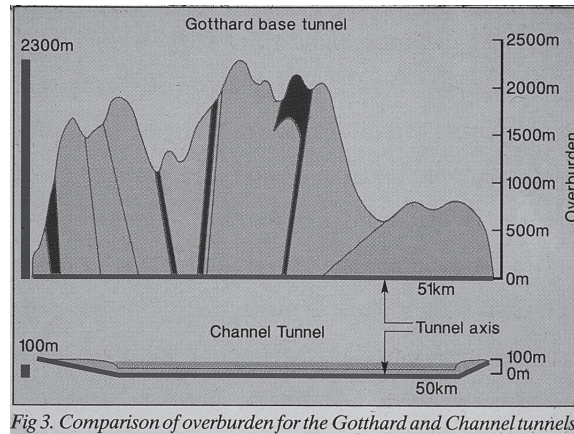


Bild 11: Längsprofile St. Gotthard-Basistunnel und Kanaltunnel Dover - Calais

begonnenen 51 km langen St. Gotthard-Basis-Tunnels gezeigt. Bis zu 2300 m Fels und Wasser drücken auf den Tunnel. Der darunter im gleichen Maßstab gezeichnete Längsschnitt des Kanaltunnels mit 100 m Überdeckung demonstriert die so dramatisch ungleichen geologischen Bedingungen. Beim Kanaltunnel wußte man sehr genau, daß man nahe-

zu ganz in tunnelfreundlicher Kreide bohren wird. Doch was erwartet die Schweizer Ingenieure in 2000 m Tiefe? Dennoch sind die Entscheidungen gefallen, zwei Röhren für die Eisenbahn bis etwa 2012 aufzufahren, um den Lasterverkehr von den Paßstraßen zu nehmen. Erst der Vortrieb – also das Machen – wird erschließen, welche unterschiedlichen Felsformationen mit welchen Eigenschaften man antreffen wird. Nachher wird man es wissen. Doch entscheiden muß man schon heute.

Selbstverständlich haben auch die Technikwissenschaften – wie die Physik – Instrumentarien der Wissensmehrung entwickelt:

- Computersimulationen erfragen das Verhalten technischer Konstrukte und Systeme.
- Der Windkanal untersucht Windbeanspruchungen von Türmen, Brücken, Flugzeugen, die aerodynamisch optimale Form eines Pkw's.
- Erst mit der Entwicklung entsprechender Meßgeräte wissen wir, wie Nitrate aus Felddüngung durch den Boden sickern.
- Seismische Großaktionen, Sprengungserregungen von Sizilien bis zum Nordkap, erbringen das Wissen, mit welchen Erdschollen sich Europa wohin bewegt.

Doch dies alles sind eher Problemlösungen, für die man hochentwickelte Apparate und Methoden der Technik braucht. Ist dies schon das im Kolloquium gemeinte Wissen?

#### **4. Wie Bautechnik sich zur Wissenschaft entwickelte.**

Lassen Sie mich einen kleinen historischen Diskurs machen, wie Technik zu Wissen kam. Technik ist das griechische *Techné*, die Kunst, das Können, die Geschicklichkeit. Bei Platon und Aristoteles: die menschliche praktische Fähigkeit, etwas hervorzubringen. Und ausdrücklich gegen die *Theoria* und gegen das von Natur aus Gewordene abgesetzt. Bei Vitruvius Pollio (ca. 30. v. Chr.) ist Bauen gleich Baukunst. Bis in die Renaissance hinein waren alle Techniken Künste: Die Kunst des Wasserbaus, des Ackerbaus, des Schmiedens, die Kunst des Brückenbaus, die Bergbaukünste. Ich will an meinem Fach aufzeigen, wie handwerkliche Kunst, das tradierte Können, mit dem Erfragen, warum dies alles eigentlich so gut funktioniert, schließlich zur Technikwissenschaft wird.

Der Mensch hat schon seit den frühen Hochkulturen vor 5000 Jahren Paläste, Tempel und Türme gebaut – und nicht nur in Babylon. Der Leuchtturm auf der Insel Pharos vor Alexandria (Bild 12), der in der Antike zu den sieben Weltwundern zählte, ist von den beiden Ptolemäus dem I. und dem II. 305 bis 280 vor Christi gebaut worden [5]. Der Hauptturm war 72 m, die Spitze ca. 120 m hoch. Dieses Meisterwerk des Bauens überstand 1600 Jahre, bis ein Erdbeben es 1326 zerstörte. Dieser 120 m hohe Turm ist sicherlich nicht allein mit Intuition und fortgeschriebener Erfahrung gebaut worden. Da hat es sicherlich auch Berechnungen gegeben, also grundsätzliches Wissen, was ein Bauwerk gegen Sturm und Erdbeben standfest macht. Und auch damals sind die Baumeister klüger geworden, wenn sie die Ursachen von Einstürzen ergründeten.

Der oströmische Kaiser Justinian beauftragte die Baumeister Anthemius von Tralles und Isodonis von Miletos mit dem Bau der Hagia Sophia (Bild 13) in Byzanz. Der in sechs Jahren von 532 – 537 entstandene erste Kuppelbau wurde schon nach 20 Jahren durch

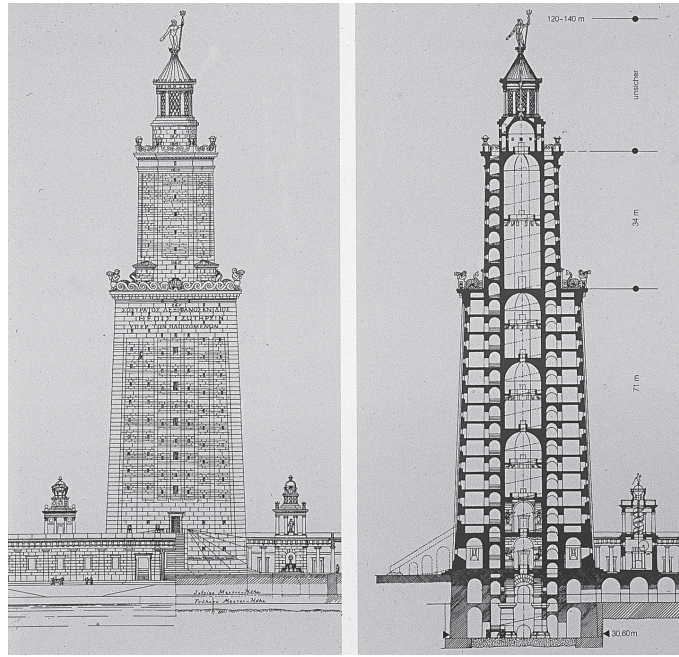


Bild 12: Leuchtturm Alexandria 300 v. Chr. bis 1326

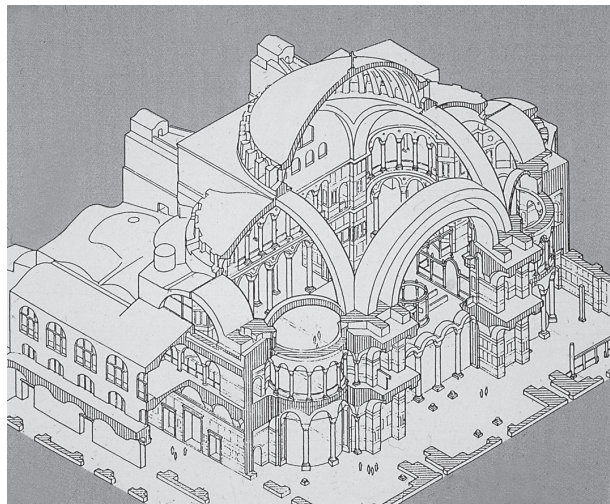


Bild 13: Hagia Sophia, gebaut 563



Erdbeben zerstört. Die Baumeister, die auch gelehrte Bauteoretiker waren, bauten die Kaiserkirche 563 mit den sich durchdringenden Vielfach-Kuppeln wieder auf [5]. Die Hauptkuppel von 30 m Durchmesser stützt sich auf die Nebenkuppeln ab. Es entsteht ein stützenfreier Raum von 75 x 30 m Grundriß und 55 m Höhe. Und dieses Meisterwerk steht auch heute noch. Erst die Peterskirche in Rom 1000 Jahre später ist etwas größer.

Die gotischen Kathedralen des 13. Jahrhunderts in der Picardie und in der Normandie sind ganz besonders eindrucksvolle Beispiele für technische Leistungen, die sich aus handwerklichem Können entwickeln (Bild 14). Baumeister, Werkmeister waren die Berufsbezeichnungen für die Dombauer, nicht „Ingenieur“ oder gar „Statiker“. Die Werkmeister erlernten die Bauhüttenkunst. Villard de Honnecourt aus der Picardie schrieb ca. 1230 sein Hüttenbuch, in dem niedergelegt ist, was ein Bauhüttenmeister von der Gewölbekunst, dem Kraftfluß in den Pfeilern bis zum Zimmern der Lehrgerüste und der Kunst der Steinmetzen alles wissen mußte [6]. Wie ein Gewölbe trägt, wie Stützpfeiler den Horizontal Schub auffangen und in die Fundamente leiten, das wußte man sehr wohl. Freilich, es gab auch manche Einstürze, dramatisch und oft in Bauzuständen. Gar mancher Baumeister mußte nachts und heimlich und ohne Honorar durchs hinterste Stadttor das Weite suchen, obwohl er ja nun durch Schaden so viel klüger war.

Bauingenieure setzen den Beginn der wissenschaftlich begründeten Baukunst als Technikwissenschaft, die das Verhalten von Bauwerken mit Berechnungsmodellen untersucht, auf

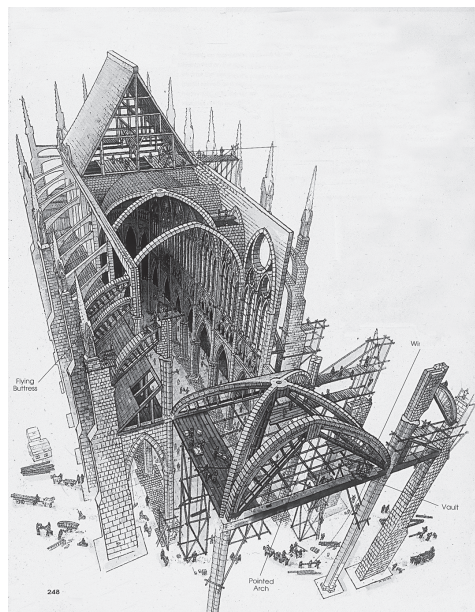


Bild 14:Gothische Kathedrale im Bau, 13. Jhd.

das Jahr 1742. Da legen drei Mathematiker-Mönche dem Papst Benedikt XIV ihr Gutachten über Ursache und Behebung der Schäden an der Peterskirche in Rom vor (Bild 15). Michelangelo, Entwurfsverfasser und ab 1546 auch Bauleiter, also 200 Jahre früher, hatte die Kuppel zu steil entworfen. Die Zugrisse im Stützring des Gewölbes erforderten stählerne Ringanker. Das Gutachten wandte Festigkeitsgrenzen und Prinzipien der Mechanik an. 1742, das ist mehr als 100 Jahre nach Descartes, den wir wohl als Begründer mathematischer Methoden in den Wissenschaften ansehen dürfen. Die Kritik der „Praktiker“ an diesem Gutachten ist bezeichnend: „Wenn die Peterskuppel ohne Mathematik und vor allem ohne die in unseren Tagen so gepflegte Mechanik erdacht, entworfen und erbaut werden konnte, so wird sie auch ohne Mathematiker restauriert werden können ... Michelangelo konnte keine Mathematik und war trotzdem imstande, die Kuppel zu bauen“, [7].

Auch George Bähr, der Erbauer der Dresdner Frauenkirche 1726 – 1743, war eher ein Zimmerer- und Baumeister, ein Kirchenbaumeister als ein Ingenieur. Er hatte sich in den statischen Ansätzen des Dresdner Glockenturmes kräftig geirrt, weil halt Intuition allein nicht immer ausreicht, den tatsächlichen Kräftefluß zu finden. Daher gibt es heute auch so starke Kritik an dem falschen „archäologischen“ Wiederaufbau.

Was all dies für unser Thema sagt? Diejenigen Techniken, deren Traditionen bis zur Techné des Aristoteles reichen, haben ohne wissenschaftliches Wissen gebaut, bewässert, Maschinen gebastelt. Auch die hochkomplizierten Welt- und Planetenuhren wie die am

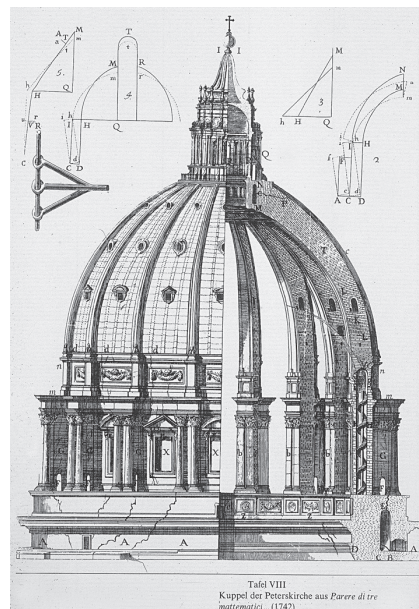


Bild 15: Peterskirche in Rom, gebaut 1506 - 1614



Altstädter Rathaus in Prag von 1410 sind ja wohl ohne Differentialgleichungen ausgetüftelt worden. Die Meister dieser Künste hatten ein anderes Wissen, vielleicht sogar ein tieferes Wissen als wir heute, das sie zu großartigen Werken befähigte. Daß ein Balken über einen Raum, einen Wasserlauf trägt, weiß der Mensch schon seit 100.000den von Jahren. Dies kann er leicht in Intuition und Erfahrungen umsetzen. Doch was da im Inneren des Balkens eigentlich vorgeht, wie man dazu ein wissenschaftliches Modell erfindet, das für alle Balken gilt, das fällt dem Menschen offenbar äußerst schwer. Selbst solche intelligenten Köpfe wie Galilei machten falsche Ansätze für die inneren Spannungen in einem gebogenen Balken.

Wir brauchten 100 Jahre, bis Euler so etwas Elementares wie einen Elastitätsmodul eindeutig definierte (s. Bild 16). In die Diskussion, was eine „lebende Kraft“ sei, heute „kinetische Energie“  $mv^2/2$ , griffen Descartes, Leibniz und sogar Kant und Goethe ein. Das Umsetzen von sichtbarem Naturverhalten in wissenschaftliche Denkmodelle braucht einige Generationen der klügsten Köpfe. Die Baustatik erhält eigentlich erst durch Müller-Breslau vor 120 Jahren ihr gesichertes theoretisches Fundament. Die Berechnung von Platten entwickelte sich aus dem Staunen über Chladnis Sandfiguren auf schwingenden Platten und einem von Napoleon ausgeschriebenen Preis für die zugehörige Theorie. Das wissenschaftliche Wissen zielt auf mathematisierbare Modelle, die für alles, was gebaut wird, gelten, auf ein Wissen wie Tragwerke auf Einwirkungen reagieren und wie Prognosen für Entwürfe erst zukünftiger Bauten zu erstellen sind.

Hat man erst solches Modellwissen, dann können wir heute Bauwerke wagen, die Bauten tradierter Erfahrungen weit überflügeln. Bild 17 zeigt die Kuppelschale der Höch-

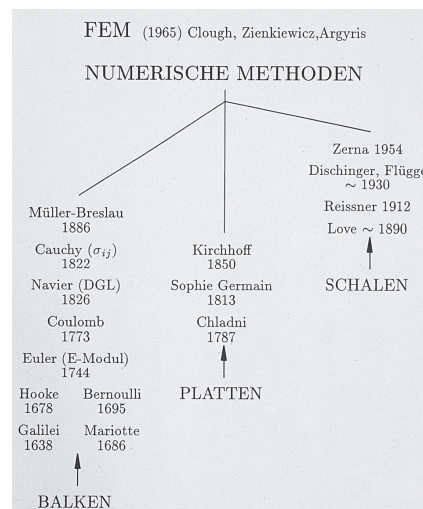


Bild 16: Entwicklung der Baustatik

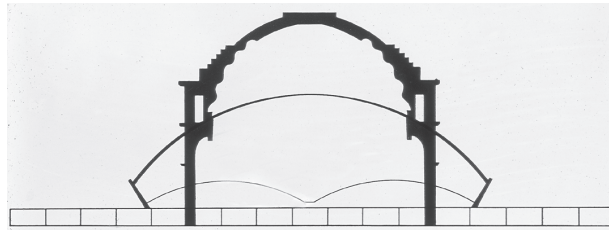


Bild 17: Pantheon in Rom (118 – 125) und Hochtower Festhalle 1959

ster Festhalle – im Dicken-Durchmesser-Verhältnis dünner als ein Hühnerei – im Vergleich zu dem von Trajan und Hadrian 118 – 125 n. Chr. erbauten Pantheon in Rom von 43 m lichter Weite.

Dieses wissenschaftliche Wissen ist wohl durch das Machen angestoßen worden, manchmal auch durch die evolutionären Leistungen der Natur: die Schalen der Muscheln, Schnecken, Schildkröten, des Schädels, der Nuß. Die Entwicklung des wissenschaftlichen Wissens ist jedoch eher die Leistung des menschlichen Intellekts. Man findet theoretische Modelle, Theorien, weder durch Machen und Anschauen, vielmehr durch Erfinden, durch einen schöpferischen Akt der Fantasie nach tieferem Eindringen in wahrnehmbares Verhalten. Da aber Fantasie auch von dem lebt, was man sich erwünscht, irrt der Mensch hier leicht und oft beträchtlich. Hier warnt sogar Goethe, man habe vom sinnlich Wahrnehmbaren auszugehen. Vorsicht sei geboten, wenn das mit den Sinnen Erkennbare auf Abstraktes zurückgeführt werde. Goethe freilich, der sich um wissenschaftliche Erkenntnisse so intensiv bemühte, war wenig zum Wissenschaftler geeignet, denn er konnte das Staunen vor dem Schönen des Ganzen nicht verlernen. Wissenschaft nimmt auseinander, ohne zu staunen.

## 5. Technik und Technikwissenschaften

Und wie kam die Eisenbahn in die Welt? (Bild 18 zeigt den „Adler“, der 1835 von Nürnberg nach Fürth fuhr.) Doch wohl mehr primär durch Machen als durch Wissen. Und wie kommt Technik zum Machen? Da ist zuerst die Beobachtung eines Phänomens. Der Deckel über einem Topf kochenden Wassers beginnt zu tanzen. Daher fragt der Kopf: Was verursacht dies? Dampf erzeugt offenbar Druck und dies um so mehr, je fester der Deckel draufsetzt, je heißer das Wasser. Dann kommt die Idee: Damit muß man doch einen Zylinder in einem Kolben bewegen können. Der Homo faber hat eine Vision und beginnt zu basteln und zu experimentieren. Denis Papin, der Hugenotte, baute 1690, als er in Marburg und Kassel war, die erste Dampfmaschine im Versuchsstadium, James Watt 1787 die erste, die einen Drehantrieb erzeugte. George Stephenson 1825 die erste Dampflokomotive. Das Knobeln, Verbessern, Erproben, Schlappen-Erleiden, Immer-klüger-werden, hat recht lange – 135 Jahre – gebraucht, bis getreu dem 200 Jahre zuvor gesetzten Ziel von Francis Bacon, aus Wissen etwas Nützliches zu machen, die ersten Lokomotiven fuhren.

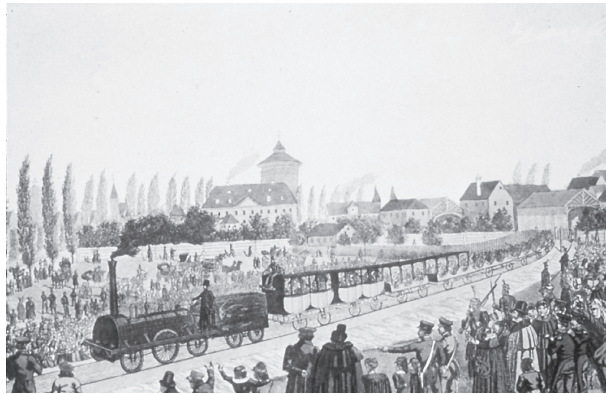


Bild 18: Erste Eisenbahn in Deutschland 1835

Doch welche Art von Wissen hatten diese Knobler und Erfinder? Mußte James Watt etwa den 1. und 2. Hauptsatz der Thermodynamik kennen? Offenbar nicht. Die wurden erst 100 Jahre später von Clausius, Kelvin, von Helmholtz formuliert. Wußte Stephenson, was Wärme eigentlich ist? Die ungeordnete Bewegungsenergie von Molekülen?

Technik hat sich weitgehend aus einfachen Anfängen durch immer neu hinzukommendes Wissen auf den heutigen Stand entwickelt. Dieses jeweils neue Wissen ist jedoch meist Erfahrungs-, Erprobungswissen, nicht das wissenschaftliche Wissen, das danach fragt, warum denn diese Technik im tiefsten Inneren, von der Physik her also, eigentlich so gut funktioniert. Die wissenschaftlichen Begründungen folgten erst nach dem Erfinden und Machen. In der VW-Autostadt kann man sehr schön die Entwicklung des Autos sehen. Mit Pferdekutschen-Vorbildern begann es. Als dann wissenschaftliches Wissen hinzukommt, gibt es stark beschleunigte Entwicklungen. Aber eigentlich auch nur in Form hinzukommender Funktionen, Verbesserungen, Optimierungen: Vom Fürther „Adler“ zum ICE III. Vom Segelgleiter Lilienthals zum Airbus. Vom Kopfhörer-Radio zur Stereoanlage. Vom Bell-Edisonschen Telefon zum Handy. Vom Baumstamm über den Bach bis zu Brücken, wie die im Bild 19 in der Normandie.

Bei diesen Techniken aus tradiertem Erfahrungswissen fällt auf, daß Ingenieure nicht wissen müssen, wie und wo alles begann. In dem letzten Entwicklungsprodukt ist das gesamte Erfahrungswissen aller vorangehenden Generationen eingefangen. Wer den Otto-Motor auf 3-Liter-Verbrauch trimmt, braucht nicht nachzufragen, was Nikolaus August Otto 1870 im Kopf hatte. Philosophen dagegen sind nach drei Sätzen bei Platon.

Man muß schon lange suchen, um Beispiele zu finden, bei denen zuerst das wissenschaftliche Wissen war und sich erst danach eine zugehörige Technik entwickelte: Die Kerntechnik, die Lasertechnik, die Silikon-Computertechnik, die Biotechnik. Alle sind erst jüngerer Datums. Hier sucht naturwissenschaftliches Grundlagenwissen, das meist Ergebnis zweckfreier Neugier ist, den nachträglichen technischen Zweck. Es ist absehbar,



Bild 19: Normandie-Brücke, gebaut 1994

daß der Weg vom Wissen zum Machen, der uns erst seit der Entwicklung der Technikwissenschaften offen steht, der wichtigere zukünftige Entwicklungsweg von Technik sein wird.

Unsere heutige Technik hat also zwei Wurzeln:

- erstens die aus Erfindungen gewachsenen, durch Wissenschaft beschleunigt entwickelten und
- zweitens die sich aus naturwissenschaftlichen Erkenntnissen eröffnenden neuen Techniken, die keine handwerklichen Vorstufen haben.

Ingenieure brauchen für beide Techniken Modelle, Abbildungen der Wirklichkeit. Freilich, nur in dem Maße, wie diese Modelle in gewünschter Weise zu funktionierender Technik führen.

Die zugehörigen Theorien sind Produkte des Kopfes. Sie lassen sich nicht aus empirischen Daten allein ableiten. Aus Machen allein kommt noch nicht theoretisches Wissen. Da muß der Kopf erst noch die Interpretation und die Erfindung der verallgemeinernden Theorie hinzutun. Durch Billardspielen findet man nicht Stoß- und Impulsgesetze. Und für die Neurowissenschaften: Viel Denken findet noch nicht, was sich dabei in unserem Kopf tut. Umgekehrt ist eine Theorie nicht durch noch so viel bestätigende Erfahrung beweisbar, obgleich William James meinte: „What works, is correct“. Der Homo faber, der da Ingenieur ist, weiß dies alles. Er weiß aber auch, daß er nur dann ein guter Ingenieur ist, wenn er das für sein Objekt und Problem jeweils angemessene, notwendige und hinreichende

Wissen einsetzt – nicht mehr (also nicht tiefer fragend) und nicht weniger (also nicht fahrlässig unwissend). Technik braucht zu ihrer Realisierung nicht das volle verfügbare Wissen, sondern nur das jeweils praktikable. Beispiel: Der Fernsehturm wird mit vereinfachten Ersatzlasten für Wind wie ein Balken berechnet, obwohl er eher eine Zylinder-Hohlraum-Struktur hat wie ein Bambusrohr, also eine Schale ist.

## **6. Welches Wissen ist gemeint in der Frage, ob Machen Motor des Wissens sei?**

Leonardo da Vinci (1452 – 1519) bewirbt sich 1482 beim Herzog Lodovico Sforza von Mailand mit folgenden Kompetenzen

- Brückenbau
- Wasserbau
- Tunnelbau
- Belagerungstechnik
- Kampfwagenteknik
- Bombardentechnik
- Wurf- und Schleudermaschinen
- Kriegsschifftechnik
- Bau- und Wasserkunst
- Malerei
- Bildende Kunst
- Bronze gießtechnik (nach G. Spur)

Wenn Leonardo da Vinci sich mit all den oben genannten Kenntnissen andient: Welches Wissen meint er zu haben? Sogar Tunnelbau und Kriegsschifftechnik glaubte er zu beherrschen. Und erst am Schluß nennt er Malerei und die Bronze gießtechnik für Sforzas Reiterstandbild. War dies alles Erfahrungswissen? Handlungswissen, wie man dies alles so zu Wege bringt, daß es so wird, wie erwartet? Oder Wissen grundsätzlicher Art, aus dem er glaubte, die jeweils erforderlichen Erfindungsideen zu schöpfen? Gewiß auch Überziehungen wie in jedem Bewerbungsschreiben. Vertraute Sforza Leonardo, weil er so viel wußte und konnte? Wer so viele Künste beherrscht, der werde auch Schleudermaschinen bauen können? Doch Leonardo war eigentlich schon ein potentieller Wissenschaftler. Denn er sagte auch: „Studiere zunächst Wissenschaft, erst dann folgt die Praxis daraus.“

Welche Art von Wissen ist gemeint, das das Machen zum Motor hat? Als ich den Text konzipierte, wollte ich dies zunächst gleich zu Anfang fragen. Doch didaktisch ist es wohl besser, mit Exemplarischem zu beginnen. Darin ist „Wissen“ meist mit Attributen belegt. Nachfolgend wird versucht, etwas Ordnung in die bei den Beispielen angesprochenen Wissensarten zu bringen. Dazu kann auch Jürgen Mittelstraß' „Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie“ [8] zu Rate gezogen werden.

### A B G R E N Z U N G E N (Platon, Aristoteles, Kant)

WISSEN	=	subjektiv und objektiv <u>zureichendes</u> Fürwahrhalten
MEINEN	=	subjektiv und objektiv <u>unzureichendes</u> Fürwahrhalten
GLAUBEN	=	nur subjektives Fürwahrhalten

Wie sich Wissen von Meinen und Glauben abgrenzt, findet man – wie könnte es anders sein – schon bei Platon und Aristoteles. Hier sind Kants Formulierungen zitiert. Im allgemeinen Sinn ist Wissen ein sowohl subjektiv als auch objektiv zureichendes Fürwahrhalten. Meinen dagegen ist in beider Hinsicht unzureichend. Darunter mag sogar die „öffentliche Meinung“ fallen. Glauben ist nur subjektives Fürwahrhalten. Der Papst hält sicherlich für wahr – er spricht ständig vom „Leben in der Wahrheit“ –, daß Maria (Zitat Brockhaus) „nicht nur der Seele, sondern auch dem Leibe nach erbsündenfrei in den Himmel aufgenommen wurde“ (Dogma von der Assumption 1950).

Aristoteles grenzt auch *Techné*, Kunstfertigkeit, das handwerkliche, technische Können vom Wissen ab. In den Kontext des hier erörterten Wissens gehört dagegen sicherlich nicht das „absolute Wissen“ in der Phänomenologie des Geistes von Hegel, denn in dieser letzten Gestalt des Wissens werde dereinst Religion und philosophische Erkenntnis, Subjektives und Objektives aufgehoben sein.

Wenn wir nun Wissen differenzieren, sind wir wieder – wie könnte es anders sein – bei Platon und Aristoteles. Die unterscheiden:

1. Theoretisches Wissen, die. 1. Philosophie. Wir würden heute eher wissenschaftliches Wissen sagen. Die Ergebnisse z. B. von Naturwissenschaften und Mathematik. Für die Technik etwas verkürzt definiert: Warum etwas funktioniert. Warum Dampf Druck erzeugt.
2. Praktisches Wissen. Bei Aristoteles als praktische Philosophie mit Fragen der Ethik und Moral, des rechten normativen Handelns, der Ökonomie, auch des guten und glücklichen Lebens befaßt. Wenn ich den Begriff für Technik umdefiniere, dann wäre dies etwa Wissen, wie etwas funktioniert, die theoretischen Grundlagen, wie man eine Brücke baut.
3. Poietisches Wissen, das dem Herstellen eines Objektes dienende Wissen, z. B. das der Architektur. Für Technik vereinfachend: etwa Handlungswissen, was zu tun ist, damit etwas in die Welt kommt.

Für Platon ist für alle drei Arten des philosophischen Wissens *Theoria* unabdingbar. Daher fallen diejenigen Wissenschaften, die nur faktisches Wissen sammeln, nicht unter die philosophischen Wissenschaften, also Sammlungen historischer Ereignisse, archäologischer Funde, griechischer Goldmünzen, aber auch nicht Sammlungen medizinischer Fallstudien oder statistischer Daten der Soziologen. Ihnen allen fehlt die Theorie. So auch noch der Kabinettsentwurf 1802 zur Reorganisation der Preußischen Akademie, der heutigen Berlin-Brandenburgischen. Zitat: „Mitglied der Akademie der Wissenschaften kann nur derjenige seyn, der sich in einem bestimmten Fache der physischen und moralischen Wissenschaften, ... zu seinem Vorteil ausgezeichnet hat. Ausgeschlossen sind alle Redner



und Dichter, weil die Gesellschaft, d. h. der Staat, sie entbehren kann. Ausgeschlossen sind ferner alle Metaphysiker, d. h. alle Philosophen von Profession, alle Theologen und Juristen. Ausgeschlossen sind endlich alle Politiker, weil die Politik keine Wissenschaft genannt werden kann“, nach [9]. Zu schön, um dies hier nicht zu zitieren. Die preußischen Beamten von 1802 hatten ihren Platon gelesen. Die heutige Akademie hat jedoch alle Wissenschaften, die wissenschaftlichen, die sammelnden Wissenschaften und die metaphysischen Philosophen.

Wenn man etwas laienhaft die verschiedenen Arten von Wissen sortiert, mag man zu folgender Liste kommen. Sie ist nicht ganz stringent. Die Bedeutungen überlappen sich. Doch wir können hieran entlang fragen, welche Art von Wissen gemeint ist, wenn Machen Motor des Wissens sein könnte.

1. *Faktenwissen* ist eigentlich nur Information, eignet sich bestens für Internet und Lexika: Nikolaus Kopernikus ist am 19. Februar 1473 in Thorn geboren. Fakten können selbstverständlich auch Ergebnisse von wissenschaftlichen Forschungen sein. Das Auffinden der Protein-Sequenzen unserer ca. 30.000 Gene ist ein solches Ergebnis. Die Informationstechnologie meint schon Daten seien Knowledge. Doch ich meine, Knowledge ist eher
2. *Wissen als Verstehen von Zusammenhängen*: Welche Folgen hat das kopernikanische Weltbild in der Kulturgeschichte gehabt? Was macht den Wald sterben? Kann man durch Machen Zusammenhänge besser verstehen? Selten. Vielleicht, wenn erst dadurch Interdependenzen aufgedeckt werden: Flußbegradigung zur Auen-Entwässerung führt zu erhöhten Hochwassern.
3. *Erklärungswissen*: Wie entsteht der zweite Regenbogen? Warum haben dessen Farben die umgekehrte Reihenfolge? Machen hat da wohl keine Chance. Da muß man Optik kennen.
4. *Handlungswissen*, meist Erfahrungswissen. Was muß ein Bauleiter planen und veranlassen, damit nach zwei Jahren ein Bauwerk richtfertig ist? Hier kann Machen viel Wissen bringen. Knowing by doing. Doch dieses Wissen ist hier sicherlich nicht gemeint. Durch Tun zum Wissen gelangen, wie man's richtig zu tun habe? Da würde Neil Postman sagen, daß auch seine Tante Molly erst durch Machen erlernt habe, wie der Kuchen des neuen Rezepts gelingt.
5. *Alltägliches Problemlösungswissen*, das auf lebensweltliche Orientierungen zielt. Was muß ich tun, um zu einem Baugrundstück zu kommen? Das ist ja wohl auch nicht gemeint. Bleibt also
6. *Wissenschaftliches Wissen*. Es ist – nach Mittelstraß [8] – auf Begründungen bezogen und unterliegt Postulaten der Überprüfung. Es könnte Karl Poppers Falsifizierung gemeint sein. Es ist das in der Vielfalt enthaltene Allgemeine, meist gesetzmäßige Allgemeine, das sich auf jedes gleichartig Spezielle übertragen läßt. Ich denke, dies ist gemeint.

Kann man also durch Machen – Machen weitgehend technisch instrumentell verstanden – Wissen gewinnen? Auch die Technikwissenschaften brauchen Technik, um neue Gesetzmäßigkeiten zu finden, die dann via intelligentem Kopf und Fantasie zu neuen Theorien führen. In der Technik erfolgt dies nicht auf direktem Wege, sondern Machen oder Machen-Wollen gibt eher Anstöße zu neuem Wissen. Beispiele:

- Weil Böden durch Schadstoffe kontaminiert werden können, fragen wir nach Theorien der Durchströmung poröser Stoffe.
- Weil die Tunnelmaschine für die 4. Elbröhre auf Findlinge und Blindgänger-Bomben stoßen kann, ist eine geophysikalische Vorerkundung vor dem Schneidrad gesucht.
- Weil wir irgendwann in der Zukunft mit Wasserstoff Autofahren wollen, müssen wir wissen, wie Energietransformationen auf Wasserstoffbasis gefahrungsfrei möglich sind.
- Wenn wir biologische Computer entwickeln wollen, die in Nanotechnik Moleküle als Transporteure von Informationen nutzen, muß Grundlagenwissen die Eignung von Molekülen erst erforschen.

Alles Anstöße des Machen-Wollens, das neues Wissen braucht.

## 7. Verstehen wir nur, was wir machen können?

Zum Schluß seien einige Fragen erörtert. Die Veranstalter der Vortragsreihe fragen: 1. Wissen wir von der Welt nur das, was wir erfragen? 2. Verstehen wir nur, was wir machen können?

Für die technischen Wissenschaften kann man dies – wenn man die Frage vordergründig läßt – grundsätzlich bejahen. Das ist für Technik kaum ein Problem. Denn Ingenieure sind auf das Reale aus, sind die Macher, also wollen sie die Welt auch nur so weit verstehen, wie es für ihr Tun erforderlich ist. Sie neigen eher umgekehrt dazu, auch das zu tun, was sie nicht verstehen oder im Eigentlichen nicht ganz verstehen, sofern es nur aus Erfahrung funktioniert.

Doch die 1. Frage ist sicherlich differenzierter gemeint. Eine erste Stufe wäre:

3. Verstehen wir die Welt nur so weit, wie wir sie durch Technik befragen? Dies mag für Naturwissenschaften und Technik zutreffen. Von Niels Bohr stammt: „Physik sagt nicht, wie die Welt ist, sondern nur was wir über ihre Natur aussagen können“. Doch die 3. Frage greift wohl zu kurz, denn dann könnte man mit einem ironischen Syllogismus sagen:

- Machen führt zu Wissen.
- Philosophen machen nichts.
- Also wissen Philosophen nichts.

Doch so kann es ja wohl nicht sein. Wo bleibt da die Leistungsfähigkeit der Logik? Was hat Kant nicht alles bewegt! Schnell ein ausgleichendes Zitat von Erasmus: „Die Philosophie lehrt in einem Jahr mehr als noch so vieles Experimentieren in 30 Jahren. Sie lehrt mit (großer) Sicherheit, während durch Probieren mehr Menschen unglücklich werden als klug. Hingegen zeigt die Theorie auf kurzem Wege, was man tun und lassen muß“. Dies

meint ja, daß Denken, die Theorie, dem Machen vorausgehen muß. Was auch zu Karl Poppers Satz paßt, daß nämlich Erfahrungen von der Theorie abhängig sind – nicht umgekehrt. Auch technische Experimente sind durch die Fragestellungen der Theorie vorprogrammiert, selten offen für überraschende Antworten.

4. Wissen wir nur, was wir erfragen können:

Warum gibt es keine Experimente zum Nachweis der Existenz von Engeln? Die Scholastiker hätten sicherlich DFG-Mittel bewilligt. Weil wir keine experimentierfähige Theorie über Engel haben? Könnten wir dies erfragen, wüßten wir es.

Vielleicht ist am akzeptabelsten:

5. Wir wissen von der Welt nur, was unser Verstand begreift.

Wir müssen handelnd in die Welt eingreifen, um aus der Antwort auf unser Tun wenigstens den Teil von Welt zu verstehen, den wir erfragen. Wenn dieses Handeln unter Machen verstanden wird, dann ist Machen gewiß ein starker Motor, zu Wissen zu gelangen. Doch nicht alles Wissen braucht das Handeln.

Wenn Technik in Zukunft vor allem die aus Wissenschaft entwickelte Technik ist, nicht mehr die aus Erfahrung tradierte, dann entstehen ganz neue Chancen, aber auch größere Verantwortlichkeiten. Tradierte Techniken haben eher den Charakter von kultureller Evolution. Der Mensch schwimmt in diesem Entwicklungsstrom glücklich oder widerstrebend, doch offenbar machtlos mit. Dagegen können wir bei aus Wissen „gemachter Technik“ bestimmen, welche Technik wir haben sollen. Dann gehen auch Werte-Vorstellungen in Technikentwicklungen ein. Technik folgt dann nicht einer blinden Evolution wie die der biologischen. Der Mensch bestimmt, wohin die Reise in die Zukunft geht. Also sollten wir uns schon ein wenig anstrengen, ein gutes Reiseziel zu finden.

### Literatur

- [1] SCHEER, JOACHIM: Versagen von Bauwerken, Ursachen, Lehren. Bd.1. Brücken. Ernst u. Sohn, Berlin, 2000
- [2] TARKOW, JOHN: A disaster in the making. American Heritage of Invention and Technology, 1986, S. 10 – 17; auch: Walzel, A.: Über Brückeneinstürze. Mittl. des Dtsch. Ingenieurvereins in Mähren, 1909, No. 2.
- [3] SCHLAICH, JÖRG; KORDINA, KARL; ENGELL, HANS-JÜRGEN: Teileinsturz der Kongreßhalle Berlin – Schadensursachen. Zusammenfassendes Gutachten. Beton- u. Stahlbetonbau (1980), S. 281 – 294.
- [4] SCHEER, JOACHIM: Einstürze von Bauwerken – Fakten, Ursachen, Folgen. Abh. Braunschw. Wiss. Ges. Bd. XLVIII (1998), S. 133 – 166.
- [5] HEINLE, ERWIN; LEONHARDT, FRITZ: Türme aller Zeiten – aller Kulturen. Deutsche Verlags-Anstalt Stuttgart 1988.

- [6] CONRAD, DIETRICH: Kirchenbau im Mittelalter. Edition Leipzig 1990.
- [7] STRAUB, HANS: Die Geschichte der Bauingenieurkunst: Ein Überblick von der Antike bis in die Neuzeit. 4. Aufl. Birkhäuser, Basel, 1992.
- [8] MITTELSTRAß, JÜRGEN (Hrsg.): Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie. Verlag J.B. Metzler, Stuttgart 1995.
- [9] TREUSCH, JOACHIM: Visionen des 21. Jahrhunderts.

### **Bildnachweise**

Bilder 1,2: Lit. [2]. Bilder 4, 5: Lit. [3]. Bild 6: Lit. [1]. Bild 7: Institut für Tieflagerung GSF, Jahresbericht 1988. Bild 10: Sturmflutsperrwerke. Philipp Holzmann Technischer Bericht 1974. Bild 11: Gehringer, W. 1993. Bild 12: Lit. [5]. Bild 13: Heinle, E.; Schlaich, J.: Kuppeln aller Zeiten – aller Kulturen. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart 1996. Bild 15: Lit. [7]. Bild 19: Structural Engineering International (JABSE), Nov. 1994.